

Table des matières

I	Asro particles	3
Yvan CAFFARI :	<i>Caractérisation des électrons dans l'expérience OPERA</i>	5
1.1	Introduction	5
1.2	Quelques rappels sur la physique du neutrino	5
1.3	L'expérience OPERA	5
1.4	L'identification des électrons	6
1.5	Conclusion	8
Yvan CAFFARI :	<i>Caractérisation des électrons dans l'expérience OPERA</i>	9
2.1	Introduction	9
2.2	Quelques rappels sur la physique du neutrino	9
2.3	L'expérience OPERA	9
2.4	L'identification des électrons	10
2.5	Conclusion	12

Première partie

Astroparticules

Frédéric Antoine
JUGET KOUCHNER

Caractérisation des électrons dans l'expérience OPERA

Yvan CAFFARI

*Institut de Physique Nucléaire de
Lyon*



Résumé

Décrit dans le Modèle Standard, le neutrino possède une masse nulle mais plusieurs expériences (Homestake, SuperKamiokande, ...) ont mis en évidence les oscillations neutrino. Ce phénomène n'est possible que si les neutrinos ont une masse non nulle. L'expérience OPERA, qui débutera en 2006, devra mettre en évidence l'oscillation $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ par apparition. La source de neutrinos ν_μ est produite au CERN grâce au faisceau CNGS et est dirigée vers le détecteur OPERA situé à une distance de 732 km sous la montagne du Gran Sasso en Italie.

1.1 Introduction

Le neutrino reste une particule très mystérieuse et mal connue. Il est aussi la première fenêtre au-delà du Modèle Standard. Dans le passé de nombreuses expériences ont étudié les oscillations neutrino. A partir de 2006 l'expérience OPERA devrait mettre en évidence l'oscillation $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ par apparition du ν_τ en utilisant un faisceau pur de ν_μ . Le ν_τ interagit par courant chargé (CC) et produit un τ qui se désintègre suivant 3 canaux (électronique, muonique et hadronique). Le détecteur est capable aussi de mettre en évidence l'oscillation $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ par apparition de ν_e . Le ν_e peut produire un électron par CC. Le but de la thèse sera de trouver un moyen d'identifier les électrons ainsi que la mesure de leur énergie. Après un bref rappel sur la physique du neutrino et une présentation succincte du détecteur, nous présenterons quelques résultats préliminaires sur la mesure de l'énergie des électrons grâce à un réseau de neurones.

1.2 Quelques rappels sur la physique du neutrino

Le neutrino a été introduit dans les années 30 par Pauli pour expliquer le spectre continu de la désintégration β et ainsi sauver le principe de conservation de l'énergie-impulsion. Malgré sa découverte il y a plus de 70 ans, le neutrino reste encore une particule aux propriétés physiques mystérieuses et mal comprises. De

nombreuses expériences ont tenté de lever une partie du voile mais elles ont davantage intensifié ce mystère en mettant en évidence le phénomène d'oscillations neutrino. Cette propriété a été expliquée théoriquement par Maki Nakagawa Sakata Pontecorvo : les états propres de saveur de l'interaction électrofaible ν_α ne sont pas des états de masse fixés ν_i mais une combinaison linéaire :

$$\nu_\alpha = \sum_i U_{\alpha i}^* \nu_i$$

A partir de ceci, il est possible de calculer la probabilité d'oscillation entre 2 états de saveurs via la formule suivante :

$$P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta) = \delta_{\alpha\beta} - 4$$

$$\sum_{j>i} U_{\alpha i} U_{\beta i} U_{\alpha j}^* U_{\beta j}^* \sin^2\left(\frac{\Delta m_{ij}^2 L}{4E}\right)$$

La matrice unitaire U, dite matrice MNSP [1], peut s'écrire sous la forme d'un produit de 3 matrices de rotation dans l'espace des états propres de masse :

$$U = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{i\delta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

où $c_{ij} = \cos \theta_{ij}$ et $s_{ij} = \sin \theta_{ij}$ et δ est la phase de Dirac de violation de CP. La première matrice correspond au domaine des neutrinos atmosphériques, la seconde à celui des réacteurs nucléaires et autres futures expériences et enfin la dernière correspond au domaine des neutrinos solaires.

1.3 L'expérience OPERA

L'expérience OPERA (Oscillation Project with Emulsion tRacking Apparatus) se propose de mettre en évidence l'oscillation $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ dans le domaine des neutrinos atmosphériques par apparition de ν_τ dans un

faisceau pur de ν_μ . Cette mise en évidence doit permettre une amélioration sur la mesure des paramètres atmosphériques. La recherche des oscillations $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ par apparition de ν_e devrait être possible et devrait permettre d'améliorer la limite supérieure sur θ_{13} .

1.3.1 le faisceau CNGS

Le faisceau CNGS (Cern Neutrino to Gran Sasso) est produit au CERN et est envoyé sur le détecteur OPERA situé 732 km plus loin en Italie sous la montagne du Gran Sasso. Ce faisceau est composé principalement de ν_μ (98%) d'énergie moyenne de 17 GeV. Tout d'abord des protons de 400 GeV issus du SPS sont envoyés sur une cible de graphite produisant ainsi un faisceau secondaire de pions et de kaons. Ce faisceau secondaire est ensuite focalisé et dirigé grâce à des systèmes magnétiques dans un tunnel de désintégration long d'environ 1 km où les pions et les kaons vont se désintégrer pour produire des neutrinos muoniques. Le flux de neutrinos est optimisé pour obtenir un maximum d'interactions ν_τ CC dans le détecteur.

1.3.2 le détecteur OPERA

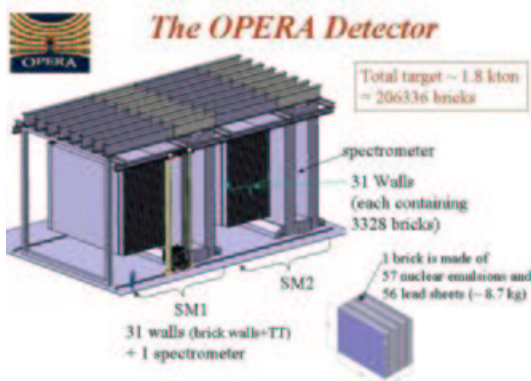


FIG. 1.1 – Le détecteur OPERA

Comme le montre la figure 2.1, le détecteur OPERA [2] est constitué de 2 supermodules. Chaque supermodule est composé de 31 modules et d'un spectromètre magnétique utile pour la mesure de la charge et de l'impulsion des muons. Un module est formé d'un mur de 3328 briques suivi d'un trajectrographe. Le trajectrographe est constitué d'un plan de 256 barreaux de scintillateurs plastiques verticaux (X) et d'un plan de 256 barreaux de scintillateurs plastiques horizontaux (Y) et permet ainsi la localisation de la brique où a eu lieu l'interaction neutrino. OPERA sera constitué de 206 336 briques et la masse totale de la cible sera de 1800 tonnes. La brique, composant essentiel du détecteur, est basée sur la technologie utilisant l'alternance d'émulsions nucléaires (partie active) et de feuilles de plomb

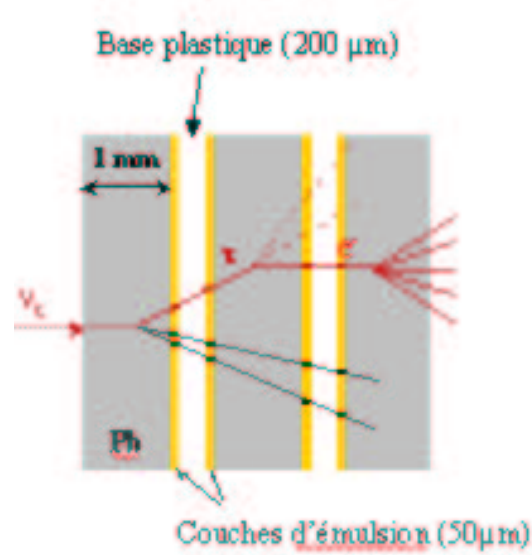


FIG. 1.2 – Désintégration du τ dans une brique formant une topologie caractéristique en coude (kink)

de 1 mm (partie passive). Un film d'émulsion est fabriqué à partir d'une base plastique épaisse de 200 μm et de 2 couches d'émulsion de 50 μm situées chacune de part et d'autre cette base plastique. Le volume d'une brique est $12.7 \times 10.2 \times 7.5 \text{ cm}^3$ et correspond à 10 longueurs de radiation. Une brique est constituée d'une première émulsion puis de 56 cellules (= feuille de Pb + émulsion), ensuite d'une grosse base plastique (environ 3 mm) puis d'une émulsion spéciale (le Changeable Sheet). Cette structure permet une reconstruction, avec une précision de l'ordre du μm , de la position du vertex d'interaction neutrino et de la topologie en coude (voir figure 1.2) caractéristique de la désintégration du τ^- issu de l'interaction du ν_τ par CC avec un noyau de plomb. Le τ peut se désintégrer suivant 3 canaux principaux : muonique, hadronique et électronique. Dans la suite ce sera ce dernier canal qui nous intéressera.

1.4 L'identification des électrons

L'identification des électrons est importante pour reconstruire les désintégrations électroniques du τ et aussi pour caractériser les oscillations $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$. Le premier travail a consisté en la simulation du passage d'électrons dans une brique du détecteur.

1.4.1 simulation d'une brique et algorithme de reconstruction de traces

Une brique complète (possédant la structure décrite précédemment) a été simulée grâce à GEANT 3. Les particules chargées produisent un hit en entrée et un hit en sortie de la couche d'émulsion. L'association des 2 hits dans une même couche produit une microtrace. Enfin l'association de 2 microtraces de part et d'autre une base plastique forme une "basetrack". Une coupure angulaire supérieure de 400 mrad ainsi qu'une tolérance en position de 50 μm sont imposées lors de la reconstruction des microtraces et des basetracks.

1.4.2 reconstruction de l'énergie de l'électron

Avec GEANT3, des électrons dans une gamme d'énergie de 500 MeV à 10 GeV sont déposés devant et au centre de la 1^{re} émulsion. Ces électrons vont générer des cascades électromagnétiques grâce aux processus de bremsstrahlung et de création de paires. Tout le travail de reconstruction de l'énergie va reposer sur la recherche de variables discriminantes issues de l'étude de la forme de la gerbe et de ses propriétés intrinsèques. Ces variables seront ensuite introduites dans un réseau de neurones à couches multiples donnant l'énergie de l'électron.

Le nombre de basetracks

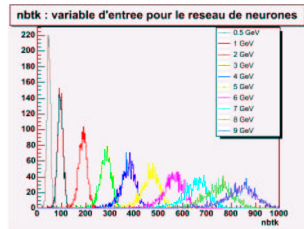


FIG. 1.3 – Distribution de la variable nbtk pour différentes valeurs de l'énergie

La première variable naturelle qui permet de discriminer les différentes valeurs de l'énergie est le nombre de basetracks nbtk produites. Il existe une relation linéaire entre nbtk et l'énergie de l'électron. De plus cette variable permet de distinguer les différentes énergies comme le montre la figure 2.2.

Le profil longitudinal

Une autre étape consiste à extraire le maximum d'information du développement longitudinal de la gerbe.

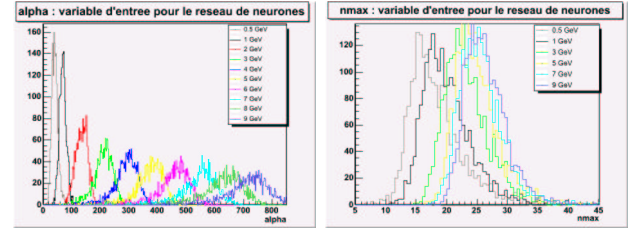


FIG. 1.4 – Distribution de la variable α pour différentes valeurs de l'énergie (gauche). Distribution de la variable nmax pour différentes valeurs de l'énergie (droite).

Ce profil est modélisé par une fonction gamma du type :

$$\rho(n) = \alpha b \frac{(bn)^{a-1} e^{-bn}}{\Gamma(a)}$$

Les coefficients α , a et b varient avec l'énergie. La position du film nmax où se situe le nombre maximum de basetracks augmente aussi avec l'énergie. Les 2 variables intéressantes pour le réseau de neurones sont donc α et nmax (dans nmax on retrouve les coefficients a et b). Ces variables sont discriminantes pour l'évaluation de l'énergie de l'électron comme le montre la figure 2.3.

Le profil transversal

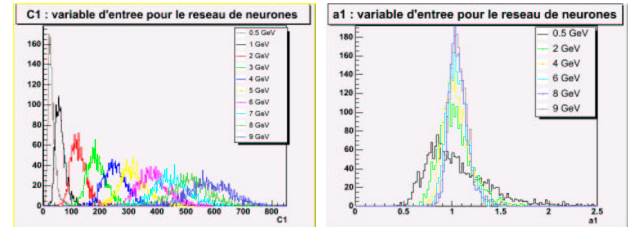


FIG. 1.5 – Distribution de la variable C1 pour différentes valeurs de l'énergie (gauche). Distribution de la variable a1 pour différentes valeurs de l'énergie (droite).

Le profil latéral de la cascade est déterminé à partir du nombre de basetracks contenues entre 2 cylindres de rayon respectifs r et $r + \Delta r$ avec $\Delta r = 500 \mu\text{m}$. Ce nombre est intégré sur toute la longueur de la brique. Le profil est ajusté par une fonction du type : $f(r) = C1 e^{-a1r}$ jusqu'à $r = 5 \text{ mm}$. C1 et a1 sont des variables d'entrée intéressantes pour le réseau de neurones car discriminantes comme le montre la figure 2.4.

La position du vertex et la dispersion angulaire

Avant de créer une gerbe, l'électron subit la diffusion coulombienne multiple puis produit un vertex d'interaction correspondant au début du développement de la

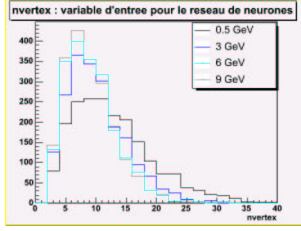


FIG. 1.6 – Distribution de la variable $nvertex$ pour différentes valeurs de l'énergie

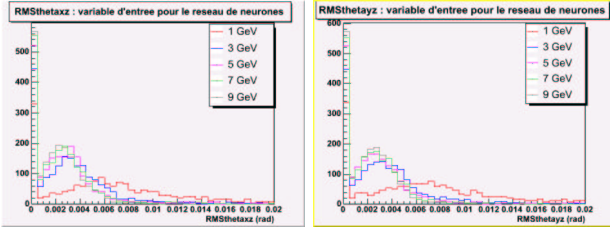


FIG. 1.7 – Distribution de la dispersion angulaire $RMS\theta_{xz}$ (gauche) et $RMS\theta_{yz}$ (droite) pour différentes valeurs de l'énergie

cascade. De ces 2 phénomènes il est possible d'extraire 3 variables : 2 variables ($RMS\theta_{xz}$ et $RMS\theta_{yz}$) associées à la diffusion coulombienne et une variable concernant le numéro de film ($nvertex$) correspondant à la position du vertex.

Les variables $RMS\theta_{xz}$ et $RMS\theta_{yz}$ correspondent à la dispersion angulaire des basetracks et sont des variables discriminantes pour séparer les électrons de basse et haute énergie. Il en est de même pour la variable $nvertex$ sauf que le nombre de feuilles traversées doit être supérieur à 6.

1.4.3 Les résultats du réseau de neurones

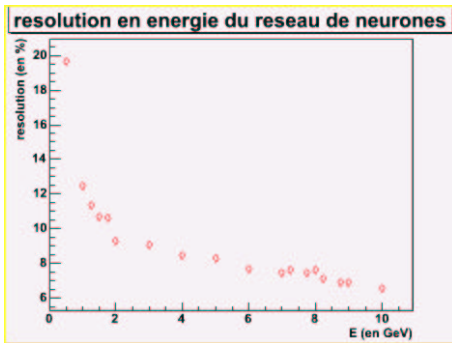


FIG. 1.8 – Courbe de résolution en énergie du réseau de neurones pour différentes valeurs de l'énergie

Le réseau de neurones utilisé est constitué de 8 variables d'entrée (n_{btk} , α , n_{max} , $C1$, $a1$, $nvertex$, $RMS\theta_{xz}$ et $RMS\theta_{yz}$), d'une couche cachée de 7 neurones et d'une couche de sortie d'un neurone donnant une estimation de l'énergie. Les résultats sont présentés dans la figure 2.7. L'estimation de l'énergie varie de 20% pour 500 MeV à 7% pour 10 GeV.

1.5 Conclusion

A partir de l'étude de la forme de la cascade électromagnétique et de ses propriétés intrinsèques, un réseau de neurones avec 8 variables d'entrée a été construit. Ce réseau de neurones donne une bonne estimation de l'énergie avec des résolutions variant de 20% pour 500 MeV à 7% pour 10 GeV. Ces résultats devront être complétés par l'introduction du bruit de fond et comparés aux données obtenues sur un faisceau test.

Remerciements

Merci à tous les organisateurs, coordinateurs et les collègues thésards pour ce très agréable moment passé tous ensemble !!

Références

- [1] Z.Maki, N.Nakagawa,S.Sakata, Prog. Theor. phys. 28(1962) 870
- [2] M. Guler et al, experiment proposal, CERN/SPS 2000-028, SPSC/P318, LNGS P25/2000, July 10, 2000

Caractérisation des électrons dans l'expérience OPERA

Yvan CAFFARI

*Institut de Physique Nucléaire de
Lyon*



Résumé

Décrit dans le Modèle Standard, le neutrino possède une masse nulle mais plusieurs expériences (Homestake, SuperKamiokande, ...) ont mis en évidence les oscillations neutrino. Ce phénomène n'est possible que si les neutrinos ont une masse non nulle. L'expérience OPERA, qui débutera en 2006, devra mettre en évidence l'oscillation $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ par apparition. La source de neutrinos ν_μ est produite au CERN grâce au faisceau CNGS et est dirigée vers le détecteur OPERA situé à une distance de 732 km sous la montagne du Gran Sasso en Italie.

2.1 Introduction

Le neutrino reste une particule très mystérieuse et mal connue. Il est aussi la première fenêtre au-delà du Modèle Standard. Dans le passé de nombreuses expériences ont étudié les oscillations neutrino. A partir de 2006 l'expérience OPERA devrait mettre en évidence l'oscillation $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ par apparition du ν_τ en utilisant un faisceau pur de ν_μ . Le ν_τ interagit par courant chargé (CC) et produit un τ qui se désintègre suivant 3 canaux (électronique, muonique et hadronique). Le détecteur est capable aussi de mettre en évidence l'oscillation $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ par apparition de ν_e . Le ν_e peut produire un électron par CC. Le but de la thèse sera de trouver un moyen d'identifier les électrons ainsi que la mesure de leur énergie. Après un bref rappel sur la physique du neutrino et une présentation succincte du détecteur, nous présenterons quelques résultats préliminaires sur la mesure de l'énergie des électrons grâce à un réseau de neurones.

2.2 Quelques rappels sur la physique du neutrino

Le neutrino a été introduit dans les années 30 par Pauli pour expliquer le spectre continu de la désintégration β et ainsi sauver le principe de conservation de l'énergie-impulsion. Malgré sa découverte il y a plus de 70 ans, le neutrino reste encore une particule aux propriétés physiques mystérieuses et mal comprises. De

nombreuses expériences ont tenté de lever une partie du voile mais elles ont davantage intensifié ce mystère en mettant en évidence le phénomène d'oscillations neutrino. Cette propriété a été expliquée théoriquement par Maki Nakagawa Sakata Pontecorvo : les états propres de saveur de l'interaction électrofaible ν_α ne sont pas des états de masse fixés ν_i mais une combinaison linéaire :

$$\nu_\alpha = \sum_i U_{\alpha i}^* \nu_i$$

A partir de ceci, il est possible de calculer la probabilité d'oscillation entre 2 états de saveurs via la formule suivante :

$$P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta) = \delta_{\alpha\beta} - 4$$

$$\sum_{j>i} U_{\alpha i} U_{\beta i} U_{\alpha j}^* U_{\beta j}^* \sin^2\left(\frac{\Delta m_{ij}^2 L}{4E}\right)$$

La matrice unitaire U, dite matrice MNSP [1], peut s'écrire sous la forme d'un produit de 3 matrices de rotation dans l'espace des états propres de masse :

$$U = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{i\delta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

où $c_{ij} = \cos \theta_{ij}$ et $s_{ij} = \sin \theta_{ij}$ et δ est la phase de Dirac de violation de CP. La première matrice correspond au domaine des neutrinos atmosphériques, la seconde à celui des réacteurs nucléaires et autres futures expériences et enfin la dernière correspond au domaine des neutrinos solaires.

2.3 L'expérience OPERA

L'expérience OPERA (Oscillation Project with Emulsion tRacking Apparatus) se propose de mettre en évidence l'oscillation $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ dans le domaine des neutrinos atmosphériques par apparition de ν_τ dans un

faisceau pur de ν_μ . Cette mise en évidence doit permettre une amélioration sur la mesure des paramètres atmosphériques. La recherche des oscillations $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ par apparition de ν_e devrait être possible et devrait permettre d'améliorer la limite supérieure sur θ_{13} .

2.3.1 le faisceau CNGS

Le faisceau CNGS (Cern Neutrino to Gran Sasso) est produit au CERN et est envoyé sur le détecteur OPERA situé 732 km plus loin en Italie sous la montagne du Gran Sasso. Ce faisceau est composé principalement de ν_μ (98%) d'énergie moyenne de 17 GeV. Tout d'abord des protons de 400 GeV issus du SPS sont envoyés sur une cible de graphite produisant ainsi un faisceau secondaire de pions et de kaons. Ce faisceau secondaire est ensuite focalisé et dirigé grâce à des systèmes magnétiques dans un tunnel de désintégration long d'environ 1 km où les pions et les kaons vont se désintégrer pour produire des neutrinos muoniques. Le flux de neutrinos est optimisé pour obtenir un maximum d'interactions ν_τ CC dans le détecteur.

2.3.2 le détecteur OPERA

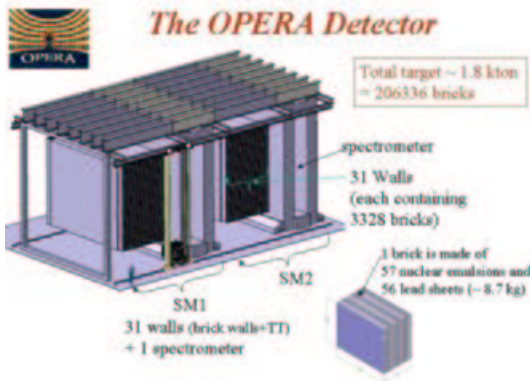


FIG. 2.1 – Le détecteur OPERA

Comme le montre la figure 2.1, le détecteur OPERA [2] est constitué de 2 supermodules. Chaque supermodule est composé de 31 modules et d'un spectromètre magnétique utile pour la mesure de la charge et de l'impulsion des muons. Un module est formé d'un mur de 3328 briques suivi d'un trajectrographe. Le trajectrographe est constitué d'un plan de 256 barreaux de scintillateurs plastiques verticaux (X) et d'un plan de 256 barreaux de scintillateurs plastiques horizontaux (Y) et permet ainsi la localisation de la brique où a eu lieu l'interaction neutrino. OPERA sera constitué de 206 336 briques et la masse totale de la cible sera de 1800 tonnes. La brique, composant essentiel du détecteur, est basée sur la technologie utilisant l'alternance

d'émulsions nucléaires (partie active) et de feuilles de plomb de 1 mm (partie passive). Un film d'émulsion est fabriqué à partir d'une base plastique épaisse de 200 μm et de 2 couches d'émulsion de 50 μm situées chacune de part et d'autre cette base plastique. Le volume d'une brique est $12.7 \times 10.2 \times 7.5 \text{ cm}^3$ et correspond à 10 longueurs de radiation. Une brique est constituée d'une première émulsion puis de 56 cellules (= feuille de Pb + émulsion), ensuite d'une grosse base plastique (environ 3 mm) puis d'une émulsion spéciale (le Changeable Sheet). Cette structure permet une reconstruction, avec une précision de l'ordre du μm , de la position du vertex d'interaction neutrino et de la topologie en coude caractéristique de la désintégration du τ^- issu de l'interaction du ν_τ par CC avec un noyau de plomb. Le τ peut se désintégrer suivant 3 canaux principaux : muonique, hadronique et électronique. Dans la suite ce sera ce dernier canal qui nous intéressera.

2.4 L'identification des électrons

L'identification des électrons est importante pour reconstruire les désintégrations électroniques du τ et aussi pour caractériser les oscillations $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$. Le premier travail a consisté en la simulation du passage d'électrons dans une brique du détecteur.

2.4.1 simulation d'une brique et algorithme de reconstruction de traces

Une brique complète (possédant la structure décrite précédemment) a été simulée grâce à GEANT 3. Les particules chargées produisent un hit en entrée et un hit en sortie de la couche d'émulsion. L'association des 2 hits dans une même couche produit une microtrace. Enfin l'association de 2 microtraces de part et d'autre une base plastique forme une "basetrack". Une coupure angulaire supérieure de 400 mrad ainsi qu'une tolérance en position de 50 μm sont imposées lors de la reconstruction des microtraces et des basetracks.

2.4.2 reconstrution de l'énergie de l'électron

Avec GEANT3, des électrons dans une gamme d'énergie de 500 MeV à 10 GeV sont déposés devant et au centre de la 1^{re} émulsion. Ces électrons vont générer des cascades électromagnétiques grâce aux processus de bremsstrahlung et de création de paires. Tout le travail de reconstruction de l'énergie va reposer sur la recherche de variables discriminantes issues de l'étude de la forme de la gerbe et de ses propriétés intrinsèques. Ces variables seront ensuite introduites dans un réseau

de neurones à couches multiples donnant l'énergie de l'électron.

Le nombre de basetracks

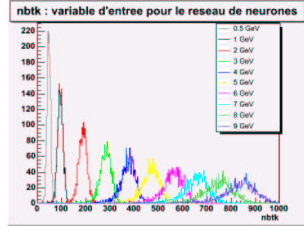


FIG. 2.2 – Distribution de la variable nbtk pour différentes valeurs de l'énergie

La première variable naturelle qui permet de discriminer les différentes valeurs de l'énergie est le nombre de basetracks nbtk produites. Il existe une relation linéaire entre nbtk et l'énergie de l'électron. De plus cette variable permet de distinguer les différentes énergies comme le montre la figure 2.2.

Le profil longitudinal

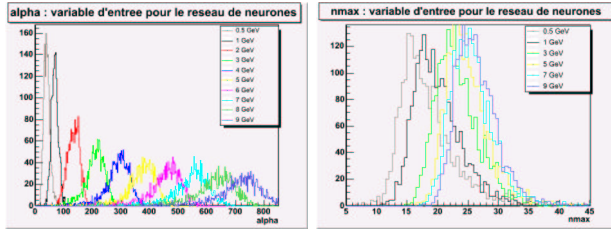


FIG. 2.3 – Distribution de la variable α pour différentes valeurs de l'énergie (gauche). Distribution de la variable nmax pour différentes valeurs de l'énergie (droite).

Une autre étape consiste à extraire le maximum d'information du développement longitudinal de la gerbe. Ce profil est modélisé par une fonction gamma du type :

$$\rho(n) = \alpha b \frac{(bn)^{a-1} e^{-bn}}{\Gamma(a)}$$

Les coefficients α , a et b varient avec l'énergie. La position du film nmax où se situe le nombre maximum de basetracks augmente aussi avec l'énergie. Les 2 variables intéressantes pour le réseau de neurones sont donc α et nmax (dans nmax on retrouve les coefficients a et b). Ces variables sont discriminantes pour l'évaluation de l'énergie de l'électron comme le montre la figure 2.3.

Le profil transversal

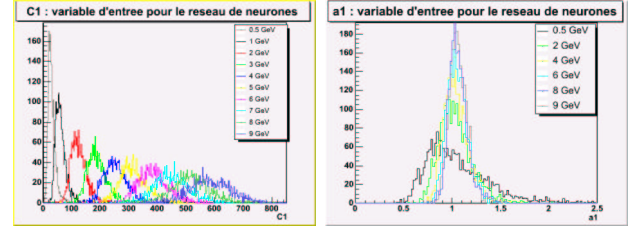


FIG. 2.4 – Distribution de la variable C1 pour différentes valeurs de l'énergie (gauche). Distribution de la variable a1 pour différentes valeurs de l'énergie (droite).

Le profil latéral de la cascade est déterminé à partir du nombre de basetracks contenues entre 2 cylindres de rayon respectifs r et $r + \Delta r$ avec $\Delta r = 500 \mu m$. Ce nombre est intégré sur toute la longueur de la brique. Le profil est ajusté par une fonction du type : $f(r) = C1 e^{-a1r}$ jusqu'à $r = 5 mm$. C1 et a1 sont des variables d'entrée intéressantes pour le réseau de neurones car discriminantes comme le montre la figure 2.4.

La position du vertex et la dispersion angulaire

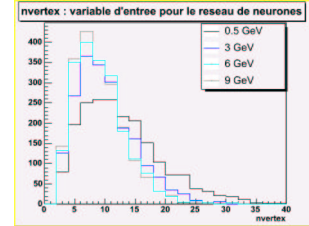


FIG. 2.5 – Distribution de la variable nvertex pour différentes valeurs de l'énergie

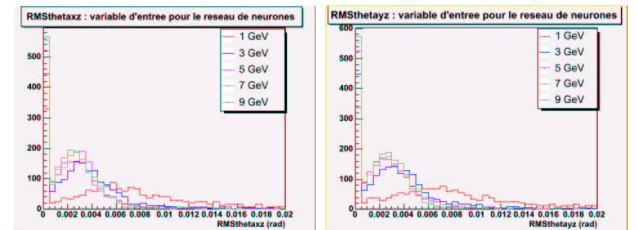


FIG. 2.6 – Distribution de la dispersion angulaire $RMS\theta_{xz}$ (gauche) et $RMS\theta_{yz}$ (droite) pour différentes valeurs de l'énergie

Avant de créer une gerbe, l'électron subit la diffusion coulombienne multiple puis produit un vertex d'interaction correspondant au début du développement de la

cascade. De ces 2 phénomènes il est possible d'extraire 3 variables : 2 variables (RMSThetaxz et RMSThetayz) associées à la diffusion coulombienne et une variable concernant le numéro de film (nvertex) correspondant à la position du vertex.

Les variables RMSThetaxz et RMSThetayz correspondent à la dispersion angulaire des basetracks et sont des variables discriminantes pour séparer les électrons de basse et haute énergie. Il en est de même pour la variable nvertex sauf que le nombre de feuilles traversées doit être supérieur à 6.

2.4.3 Les résultats du réseau de neurones

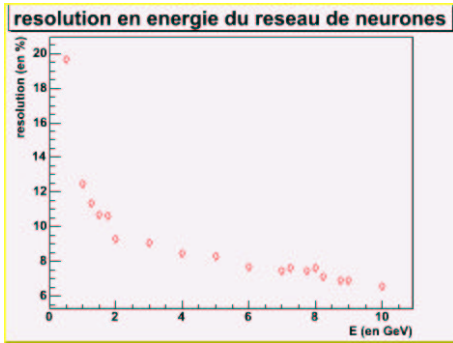


FIG. 2.7 – Courbe de résolution en énergie du réseau de neurones pour différentes valeurs de l'énergie

Le réseau de neurones utilisé est constitué de 8 variables d'entrée (nbtk, α , nmax, C1, a1, nvertex, RMSThetaxz et RMSThetayz), d'une couche cachée de 7 neurones et d'une couche de sortie d'un neurone donnant une estimation de l'énergie. Les résultats sont présentés dans la figure 2.7. L'estimation de l'énergie varie de 20% pour 500 MeV à 7% pour 10 GeV.

2.5 Conclusion

A partir de l'étude de la forme de la cascade électromagnétique et de ses propriétés intrinsèques, un réseau de neurones avec 8 variables d'entrée a été construit. Ce réseau de neurones donne une bonne estimation de l'énergie avec des résolutions variant de 20% pour 500 MeV à 7% pour 10 GeV. Ces résultats devront être complétés par l'introduction du bruit de fond et comparés aux données obtenues sur un faisceau test.

Merci à tous les organisateurs, coordinateurs et les collègues thésards pour ce très agréable moment passé tous ensemble !!

Références

- [1] Z.Maki, N.Nakagawa,S.Sakata, Prog. Theor. phys. 28(1962) 870
- [2] M. Guler et al, experiment proposal, CERN/SPS 2000-028, SPSC/P318, LNGS P25/2000, July 10, 2000

Remerciements